



SKRIPSI – ME091329

**ANALISA DISTRIBUSI TEGANGAN PADA *CRANKCASE*
MOTOR DIESEL *REVERSE ENGINEERING* SEBAGAI
ACUAN MENDESAIN ULANG *CRANKCASE***

**MUSA KHARBILLAH
NRP 4210 100 092**

**DOSEN PEMBIMBING 1:
Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D**

**DOSEN PEMBIMBING 2:
Ir. Tjoek Soeprajitno**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT – ME091329

**ANANLYSIS OF STRESS DISTRIBUTION ON REVERSE
ENGINEERING DIESEL ENGINE CRANKCASE FOR
REFERENCE RE-DESIGNING CRANKCASE**

**MUSA KHARBILLAH
NRP 4210 100 092**

**SUPERVISOR 1:
Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D**

**SUPERVISOR 2:
Ir. Tjoek Soeprajitno**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

KATA PENGANTAR

Dengan ini kami panjatkan puji syukur kehadirat Tuhan YME, karena atas segala rahmat dan pertolongan-Nya penulis diijinkan dan dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Analisa Distribusi Tegangan Pada *Crankcase* Motor Diesel *Reverse Engineering* Sebagai Acuan Mendesain Ulang *Crankcase*”.Laporan ini disusun untuk memenuhi matakuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak DR. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
2. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana S.T., M.Sc, selaku Koordinator Mata Kuliah Skripsi
3. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Tjoek Soeprajitno selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak Asyik dan Ibu Masiah tercinta beserta keluarga di rumah, yang selalu memberikan doa, cinta dan kasih sayang yang sangat di butuhkan sebagai semangat dalam menempuh kuliah.
5. Saudara Pandika Darmawan yang telah mengajari saya untuk mengoperasikan software tiga dimensi.
6. Teman-teman PINISI'10 yang selalu memberikan dukungan jiwa dan raga yang tak kenal lelah.
7. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang

membangun bagi penulis. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 15 Januari 2016

Lembar Pengesahan

ANALISA DISTRIBUSI TEGANGAN PADA CRANKCASE MOTOR DIESEL REVERSE ENGINEERING SEBAGAI ACUAN REDESAIN CRANKCASE

SKRIPSI

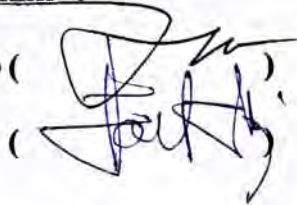
**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
MUSA KHARBILLAH
NRP 4210 100 092**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah , M.Eng. Ph.D (

Ir. Tjoek Soeprajitno



**SURABAYA
Juli 2014**

Lembar Pengesahan

ANALISA DISTRIBUSI TEGANGAN PADA *CRANKCASE* MOTOR DIESEL *REVERSE ENGINEERING* SEBAGAI ACUAN MENDESAIN ULANG *CRANKCASE*

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Marine Power Plant (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Musa Kharbillah

Nrp. 4210100092

Ditetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:

DR. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007



SURABAYA

Januari 2016

**ANALISA DISTRIBUSI TEGANGAN PADA
CRANKCASE MOTOR DIESEL REVERSE
ENGINEERING SEBAGAI ACUAN MENDESAIN
ULANG CRANKCASE**

Nama Mahasiswa : Musa Kharbillah
NRP : 4210100092
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
**Dosen Pembimbing 1 : Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah,
M.Eng, Ph.D.**
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Tjoek Suprajitno

Abstrak

Desain crankcase suatu motor diesel harus memiliki kemampuan untuk menampung oli pelumas ketika pada kondisi kemiringan 45°. Selain itu material crankcase harus mempunyai kekuatan, salah satunya adalah kemampuan mengatasi tegangan mekanik dan thermal dari oli pelumas. Penelitian ini terkait dengan analisa distribusi tegangan mekanik dan thermal pada crankcase. Langkah-langkah analisa dimulai dari pembuatan desain kemudian dilanjutkan dengan perencanaan sistem pelumasan. Untuk menganalisa kekuatan diperlukan pemilihan material yang tepat. Setelah itu dengan menggunakan Finite Elemen Analysis (FEA) tegangan mekanis dan thermos dapat diketahui. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah rancangan crankcase yang efisien dengan sistem pelumasan yang sesuai kualifikasi. Material stainless steel dapat menahan tegangan mekanis dan thermal senilai $(240,315 \times 10^6) + 1.58 \text{ Pa}$.

Kata Kunci: *Crankcase, oil pan, stress, thermal stress,*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION ON
REVERSE ENGINEERING DIESEL ENGINE
CRANKCASE FOR REFERENCE RE-DESIGNING
CRANKCASE**

Name : Musa Kharbillah
NRP : 4210100092
Department : Marine Engineering FTK-ITS
Supervisor 1 : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng,
Ph.D
Supervisor 2 : Ir. Tjoek Suprajitno

Abstract

The design of a diesel engine crankcase must have the ability to accommodate lubricating oil when the 45-degree slope conditions. In addition, the material of crankcase must have the strength, one of which is ability for endure the mechanical and thermal stress of lubricating oil. This research related to the analysis of mechanical and thermal stress distribution on the crankcase. Step of analysis started from the design and then proceed with the planning of the lubrication system. To analyze the strength required the selection of appropriate materials. After that, by using Finite Element Analysis (FEA) mechanical and thermal stress can be determined. The result of this study is an efficient design of the crankcase with appropriate lubrication system qualification. Stainless steel material can withstand mechanical and thermal stress worth $(240.315 \times 106) + 1:58$ Pa.

Key Words: Crankcase, oil pan, stress, thermal stress,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Manfaat	2
I.5. Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1. Umum.....	3
II.2. Tegangan Thermal.....	4
BAB III METODOLOGI.....	9
III.1. Pembongkaran dan Pengukuran <i>Crankcase</i>	11
III.2. Gambar Ulang <i>Crankcase</i> (3D).....	11
III.3. Mendesain bentuk <i>Crankcase</i> yang baru.....	11
III.4. Analisa Tegangan	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1. Desain <i>Crankcase</i>	13
IV.2. Perencanaan bak pelumas	14
IV.3. Alternatif desain <i>crankcase</i>	16
IV.4. Analisa Tegangan Thermal.....	21
IV.5. Analisa Tegangan Mekanik	34
IV.6. Analisa Tegangan Total	35
IV.7. Pembahasan.....	36

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN.....	43
BIODATA PENULIS.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Dimensi utama desain crankcase.....	13
Tabel 4.2 Dimensi crankcase awal.....	14
Tabel 4.3 Stainless steel property.....	21
Tabel 4.4 Plain carbon steel property.....	22
Tabel 4.5 Copper property.....	23
Tabel 4.6 Perbandingan tegangan thermal.....	33
Tabel 4.7 Tegangan total.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alur pengerjaan skripsi.....	10
Gambar 4.1 Desain ulang crankcase.....	13
Gambar 4.2 Gambar crankcase tampak depan.....	14
Gambar 4.3 Gambar crankcase tampak depan miring 45°.....	15
Gambar 4.4 Gambar crankcase tampak samping	15
Gambar 4.5 Screenshoot spesifikasi pelumasan.....	16
Gambar 4.6 Desain plate pan.....	17
Gambar 4.7 Middle plate pan.....	18
Gambar 4.8 Desain z pan.....	19
Gambar 4.9 Ilustrasi kemiringan z pan.....	20
Gambar 4.10 Tegangan Thermal plate pan stainless.....	24
Gambar 4.11 Tegangan Thermal middle pan stainless.....	25
Gambar 4.12 Tegangan Thermal z pan stainless.....	26
Gambar 4.13 Tegangan Thermal plate pan carbon.....	27
Gambar 4.14 Tegangan Thermal middle pan carbon.....	28
Gambar 4.15 Tegangan Thermal z pan carbon.....	29
Gambar 4.16 Tegangan Thermal plate pan copper.....	30
Gambar 4.17 Tegangan Thermal middle pan copper.....	31
Gambar 4.18 Tegangan Thermal z pan copper.....	32

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sebuah proses menganalisa produk yang sudah ada sebagai dasar merancang produk yang sejenis dengan memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk yang biasa disebut dengan *Reverse Engineering*. (Wibowo, 2006). Proses inilah yang diterapkan pada penelitian ini.

Sehubungan dengan hal tersebut, di Laboratorium Motor Bakar Dalam dan Getaran ,Jurusan Teknik Sistem Perkapalan , Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember juga melakukan riset yang sama. Riset ini berhubungan dengan desain motor diesel. Analisa yang dilakukan diharapkan bisa mengembangkan desain komponen yang sudah ada sebelumnya.

Salah satu bagian penting dari motor diesel adalah *crankcase*. *Crankcase* atau rumah dari *crankshaft* berfungsi sebagai pelindung dari *crankshaft*. Selain itu pada sebagian motor diesel, *crankcase* hanya berfungsi sebagai *oil pan* atau tempat penampungan minyak pelumas.

Minyak pelumas yang ditampung pada *crankcase* akan menimbulkan *thermal stress* yang akan berpengaruh pada material itu sendiri. Hal ini akan menyebabkan fatiq dan cacat pada material tersebut berupa keretakan (*crack*). Selain itu, *crankcase* harus memiliki bentuk yang dapat mengkondisikan oli pelumas agar mampu melumasi seluruh bagian mesin saat mesin dalam kondisi miring dengan sudutkemiringan maksimal 45°

Oleh karena tegangan yang terjadi pada *crankcase* adalah akibat dari panas minyak pelumas, maka diperlukan analisa lebih mendalam terhadap thermal stress, serta analisa design bentuk *crankcase* yang efisien. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA)

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana bentuk crankcase *crankcase* motor diesel yang efisien?
2. Bagaimana tegangan mekanik dan thermal yang terjadi pada *crankcase* motor diesel?
3. Bagaimana tegangan total yang terjadi pada *crankcase* motor diesel?

1.3 TUJUAN

1. Membuat bentuk *crankcase* motor diesel yang efisien
2. Mengetahui tegangan mekanik dan thermal pada *crankcase* motor diesel.
3. Mengetahui tegangan total yang terjadi pada *crankcase* motor diesel.

1.4 MANFAAT

Mengetahui bagaimana distribusi tegangan thermal dan mekanik sehingga dapat dijadikan referensi sebagai desain bentuk serta material *crankcase* pada motor diesel.

1.5 BATASAN MASALAH

- 1 Analisa ini terbatas pada mesin Cummins 4BTA3.9-M125
- 2 Analisa ini terbatas hanya pada crankcase dari mesin tersebut

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1. Umum

Keputusan dalam mendesain dan membangun engine baru harus diambil setelah melakukan pertimbangan yang sangat teliti. Mashkour (2014) menyatakan beberapa hal yang diperhatikan dalam desain ini adalah , alasan dari desain tersebut , jenis bahan bakar yang digunakan,kebutuhan daya, tipe pekerjaan yang dilakukan mesin tersebut. Proses desain dari mesin baru merupakan masalah yang kompleks ,Terdapat beberapa hal yang harus dipenuhi seperti teknologi ,proses dan biaya manufaktur harus diperhatikan. Selain itu, persyaratan tersebut kontradiktif satu sama lain (CSSN, 2014) .

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari desain sebelumnya dilakukan *reverse engineering*. Ali (2005) mengungkapkan bahwa reverse engineering menggunakan produk yang sudah ada untuk dimodifikasi atau produksi ulang. Dapat diartikan juga sebagai proses duplikasi komponen yang sudah ada dengan melihat dimensi fisik komponen.

Beberapa komponen utama dalam desain mesin diesel yang dianalisa untuk bisa di desain ulang, antara lain :

1. Cylinder Block, Cylinder Head , Cylinder Liner
2. Piston, piston rings dan piston pin
3. Connecting rod
4. Crankcase, crankshaft and crank pin, dan
5. Mekanisme valve gear.

Salah satu tujuan dari penelitian dalam skripsi ini digunakan untuk proses desain ulang dari crankcase motor diesel. Crankcase terletak pada bagian bawah motor diesel.

Crankcase merupakan bagian dari sebuah engine yang sangat penting fungsinya. Dalam segi geometris, crankcase

berfungsi sebagai wadah yang menutup isi sebuah engine. Namun dalam beberapa engine, crankcase berfungsi sebagai bantalan shaft, juga sebagai tempat untuk mengeluarkan dan mengganti komponen –komponen yang ada pada engine. Dan umumnya adalah untuk menampung cairan pelumas(*oil pan*). Tidak hanya menampung oli pelumas, *crankcase* juga harus bisa menjaga ketinggian permukaan oli pelumas serta volumenya agar pipa suction untuk menyalurkan keseluruhan bagian mesin dapat menghisap dengan optimal, walaupun saat kondisi miring hingga 45°.

Design crankcase sangat menentukan efektifitas dari system pelumasan engine. Karena disana tempat lubricating oil ditampung pada system pelumasan basah. Material yang digunakan pun juga harus tahan terhadap panas dan tekanan.

2. Tegangan Thermal

Tegangan dapat terjadi akibat beberapa hal ,salah satunya adalah karena panas yang disebut dengan tegangan thermal. Ziman (1967) mendefinisikan bahwa tegangan thermal adalah tegangan yang terjadi pada suatu material karena hasil dari perubahan temperatur. Ini terjadi atas hasil dari distribusi temperature pada bagian yang berbeda yang tidak seragam dan batasan pada kemungkinan pemuaian atau kontraksi. Seperti yang kita tahu bahwa, untuk beberapa material ,volumenya akan berubah seiring dengan perubahan temperature. Kenaikan ataupun penurunan suhu akan menyebabkan terjadinya ekspansi maupun kontraksi. Apabila struktur tersebut pergerakannya dibatasi atau ditahan ketika terjadi perubahan temperature pada struktur tersebut maka akan timbul tegangan (stress).. Ziman (1967) menyatakan tegangan thermal terjadi atas hasil dari perbedaan temperature pada permukaan karena pemanasan atau pendinginan yang cepat. Laju pendinginan yang tidak tepat akan menyebabkan

terjadinya tegangan thermal. Tegangan thermal tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = E \epsilon$$

$$= E \alpha \Delta t$$

(Ziman :1967)

Dimana :

σ = tegangan atau stress akibat pemuaian (N/m^2 , Pa)

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

α = Koefisien muai panas ($\text{m/m}^\circ\text{C}$)

Δt = perbedaan temperature ($^\circ\text{C}$)

a. Tegangan Mekanik

Tegangan mekanik umumnya terbagi atas tegangan normal dan tegangan tangensial. Tegangan normal merupakan tegangan yang terjadi karena dipengaruhi oleh gaya normal. Sedangkan tegangan tangensial adalah tegangan yang terjadi karena dipengaruhi oleh gaya tangensial.

Umumnya tegangan mekanik dilambangkan dengan dimensi gaya per satuan luas. Hampir mirip dengan tekanan yang memiliki rumus dan satuan yang sama.

Berikut merupakan rumus umum dari tegangan:

$$\sigma = F/A$$

dengan :

σ : Tegangan (N/m^2)

F : gaya (Newton)

A : luas (m^2)

b. Finite Element Analysis

Dalam menyelesaikan permasalahan dalam skripsi ini digunakan suatu metode yaitu Finite Element Method (FEM). Hutton (2004:1) menyatakan bahwa Finite Element Method (FEM) atau biasa disebut Finite Element Analysis (FEA) adalah teknik komputasional yang dipakai untuk mendapatkan perkiraan penyelesaian dari suatu masalah nilai kondisi batas (*boundary value problem*) dalam bidang teknik. Masalah nilai kondisi batas (*boundary value problem*) biasa disebut dengan *field problems*. *Field problems* diformulasikan dengan persamaan diferensial ataupun persamaan integral. Mecitoglu (2008:3) , finite element method sebenarnya dikembangkan untuk mempelajari tegangan-tegangan pada struktur pesawat terbang yang kompleks. Kemudian, metode ini diaplikasikan dalam bidang mekanika yang lain yaitu, perpindahan panas ,mekanika fluida, elektromagnetik, geomekanik, analisa struktur dan lain-lain.

Finite Element Analysis (FEA) dipakai dengan alasan tertentu. Mecitoglu (2008:1) Solusi analitis dari permasalahan teknik mungkin diselesaikan hanya bila geometri, beban dan kondisi batas dari masalah tersebut adalah sederhana. Untuk itu, digunakan pendekatan matematis dari FEA. Selain itu, kelebihan Finite Element Methode dibandingkan dengan analisa matematika lainnya adalah :

- i. FEA dapat digunakan dalam berbagai permasalahan seperti perpindahan panas, analisa tegangan, bidang magnetic, dan lain-lain.
- ii. Tidak ada batasan mengenai geometry atau bisa diaplikasikan untuk bagian dengan berbagai bentuk.

- iii. Tidak ada batasan mengenai kondisi batas dan beban
- iv. Sifat material dapat dirubah dari satu elemen ke elemen lainnya.
- v. Elemen yang berbeda dapat dikombinasikan dalam satu model Finite Element

Mecitoglu (2008:13) menyatakan, didalam analisa finite element menggunakan software terdapat tiga langkah yang digunakan ,yaitu Preprocessing , Solution dan Postprocessing. Adapun penjelasan dari tiga langkah tersebut adalah :

a) Preprocessing

Langkah preprocessing adalah langkah pendefinisian model yang berupa :

1. Mendefinisikan geometri elemen (panjang ,luas dan lain-lain)
2. Mendefinisikan jenis elemen yang digunakan
3. Mendefinisikan sifat material dari elemen
4. Mendefinisikan beban
5. Mendefinisikan *Boundary Condition* dari elemen

b) Solution

Pada proses ini prosesor membaca input data setiap element. Software secara otomatis menghasilkan matriks yang menggambarkan kelakuan dari element dan mengkombinasikan matriks ini menjadi persamaan matriks yang besar yang menunjukkan struktur finite element.

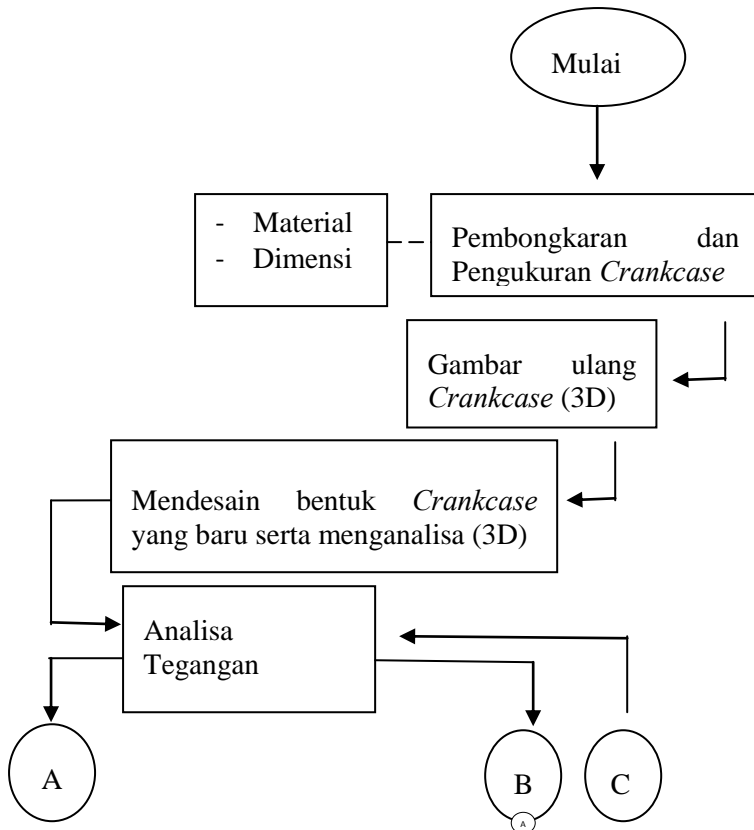
c) Post Processing

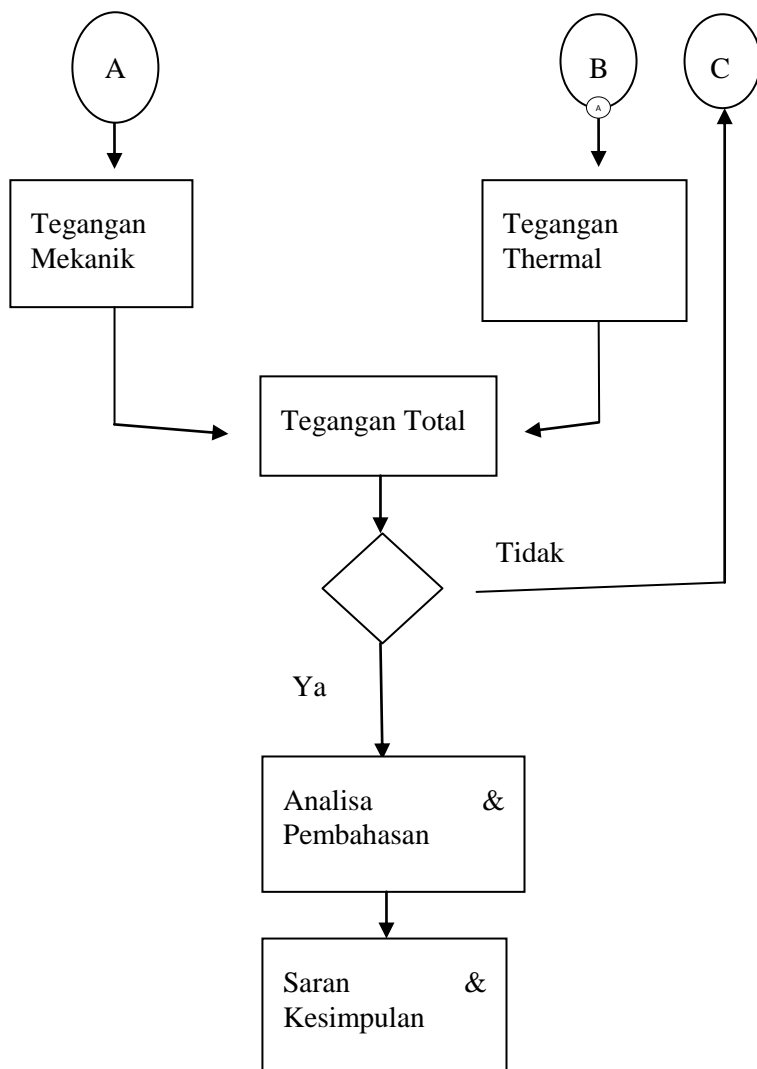
Pada proses ini prosesor mendapatkan data hasil dan memungkinkan pengguna untuk membuat tampilan grafis dari deformasi struktur dan *stress components*.

BAB III

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan proses *reverse engineering* pada motor diesel. Proses yang dilakukan mengacu pada motor diesel yang sudah ada dengan daya 125 HP 4 silinder. Proses yang dilakukan mengacu pada bentuk fisik dan dimensi komponen yang ada dan selanjutnya dilakukan analisa akibat dampak temperature dan tekanan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :





Gambar 3.1 . Diagram Alur Pengerjaan Skripsi

3.1 Pembongkaran dan Pengukuran *Crankcase*

Pembongkaran dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Dalam dan Getaran, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan , FTK-ITS. Bagian-bagian dari motor diesel tersebut dilepas satu-persatu sampai komponen yang diperlukan dalam penelitian ini ,yaitu crankcase dari motor diesel tersebut.

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah proses pembongkaran adalah pengukuran. Pengukuran dilakukan pada detail bagian-bagian crankcase dari motor diesel tersebut. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur jangka sorong atau caliper.

3.2 Gambar Ulang *Crankcase* (3D)

Pembuatan desain dilakukan dalam bentuk 3 dimensi. Penggambaran ini dilakukan dengan memperhatikan hasil pengukuran komponen dan draft dari desain yang baru. Untuk kepentingan dianalisa dengan software *solidwork* , maka desain tersebut disimpan dengan format *part*, sehingga file tersebut dikenali oleh software yang dipakai.

3.3 Mendesain bentuk *Crankcase* yang baru serta menganalisa (3D)

Pada proses ini akan dibuat tiga desain bentuk yang baru dan berbeda dengan *crankcase* sebelumnya secara bentuknya. Namun untuk volumenya disamakan dengan desain yang awal. Untuk mendesain bentuk *crankcase* ini menggunakan software *solidwork* secara tiga dimensi. Setelah desain yang baru digambar, maka langkah selanjutnya dilakukan dengan menganalisa dimensi fisik serta menganalisa aliran oli pelumas jika desain crankcase yang baru tersebut dibuat miring 45° .

3.4 Analisa Tegangan

Ada beberapa langkah yang dilakukan ketika menganalisa tegangan. Ada tiga tahap yang harus dilakukan ketika menggunakan software solidwork, berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Diskritisasi model / meshing

Meshing merupakan salah satu aspek penting dalam simulasi teknik. Semakin kecil ukuran mesh yang dipakai maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan analisa tetapi tingkat keakuratan menjadi lebih tinggi. Untuk simulasi model diatas digunakan meshing tipe tetrahedral. Berikut hasil meshing dari geometri yang akan dianalisa :

2. Tegangan Mekanik

Pada simulasi tegangan mekanik ini terdapat data inputan yang data ini didapat dari manual book dan referensi terkait. Data tersebut berupa tekanan.

3. Tegangan Thermal

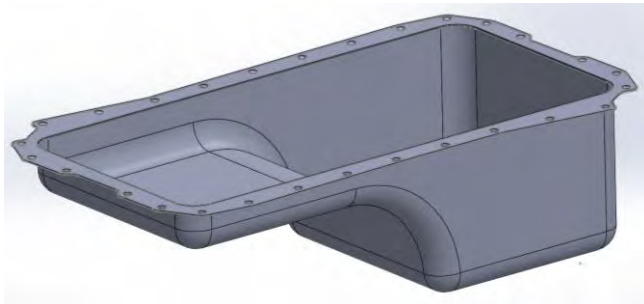
Proses analisa tegangan thermal dilakukan dengan software. Hal yang pertama dilakukan dalam proses analisa ini adalah kondisi awal dari geometri, yaitu kondisi sebelum terjadi panas pada oli pelumas.

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 Desain Crankcase

Gambar 4.1 merupakan desain ulang crankcase yang digambar secara tiga dimensi. Material utamanya menggunakan cast alumunium, dengan spesifikasi oli pelumas 15W-40 Dimensi utama dari desain yang original ditunjukkan dalam tabel 4.1



Gambar 4.1 Desain ulang crankcase

Tabel 4.1 : Dimensi utama desain crankcase

No.	Dimensi	Keterangan
1.	Panjang	530 mm
2.	Lebar	255 mm
3.	Kedalaman 1	50 mm
4.	Kedalaman 2	185 mm
5.	Volume oli maks.	9.5 liter

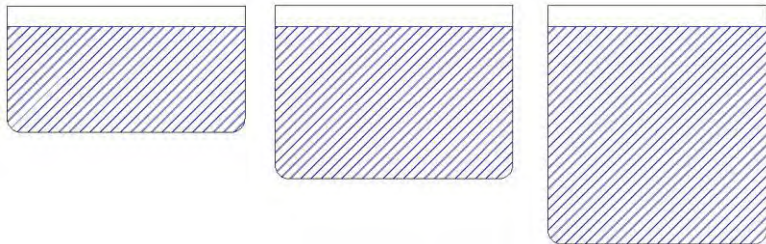
4.2 Perencanaan bak pelumas

Dalam perencanaan Berdasarkan Dari desain yang sudah ada, dianalisa aliran oli pelumas yang berada didalam crankcase dengan merubah kedalaman serta panjang cekungan crankcase. Pergeseran kedalaman curam diambil nilai 50 mm dari kedalaman awal. Untuk dimensi detailnya dapat dilihat dari table berikut:

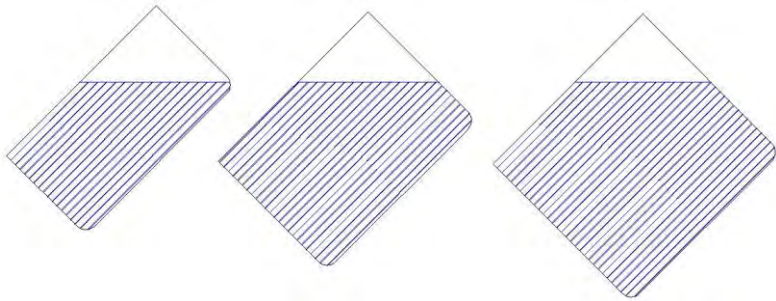
Tabel 4.2 : dimensi crankcase awal

No.	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman 1 (mm)	Kedalaman 2 (mm)	Panjang 1 (mm)	Panjang 2 (mm)	Volume (dm ³)
1.	530	255	135	50	370	160	9.5
2.	530	255	185	50	205	325	9.5
3.	530	255	235	50	148	382	9.5

Dari data diatas, maka berikut hasil analisa aliran oli pelumas pada masing-masing desain.

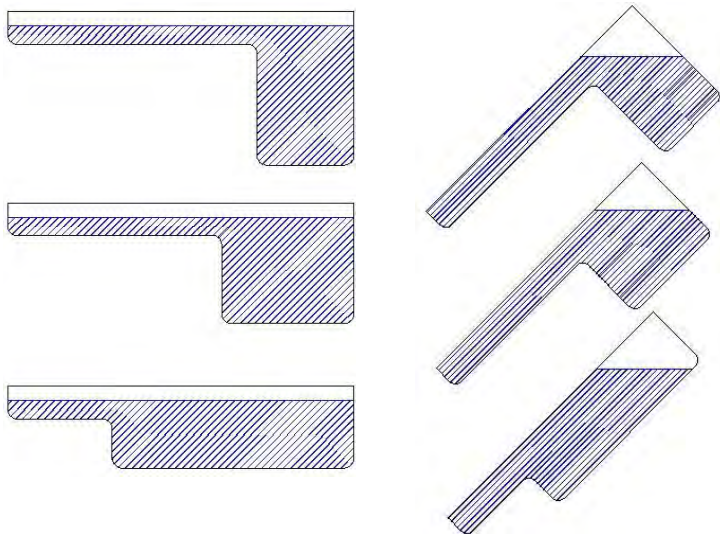


Gambar 4.2 : gambar crankcase tampak depan



Gambar 4.3 : gambar crankcase tampak depan ketika miring 45°

Pada gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa ketika crankcase miring 45° kekanan dan kekiri hanya desain ke-2 dan ke-3 yang dapat menyediakan posisi permukaan oli yang bagus untuk diserap oleh oleh pipa suction.



Gambar 4.4 : gambar crankcase tampak samping

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa gambar crankcase ke-2 dan ke-3 memiliki efisiensi penadah oli pelumas yang baik ketika crankcase miring 45° kebelakang.

Pada desain crankcase yang awal yakni desain ke-2, sudah dapat memenuhi syarat kemiringan yang diperbolehkan. Namun jika diberi penambahan dan pengurangan kedalaman, desain ke-3 lebih baik hasilnya dengan kedalaman tertinggi. Namun kelemahan desain ini adalah menambah dimensi ketinggian mesin yang bertambah 50 mm.

4.3 Alternatif desain crankcase

Sebelum mendesain ulang *crankcase*, alangkah baiknya jika melihat spesifikasi oil pan dari manual book Cummins 4BTA3.9 berikut:

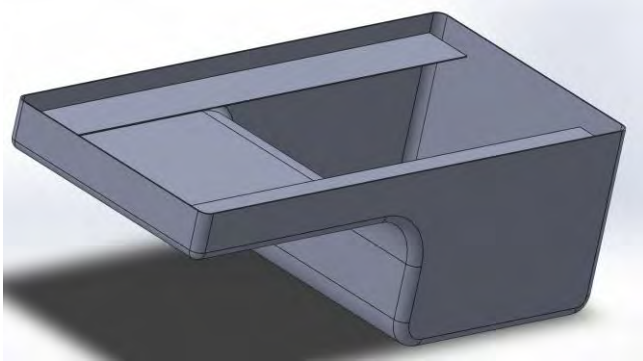
Normal Operating Oil Pressure Range.....	69~345kPa
Maximum Lube Oil Flow for Engine Accessories.....	4 litre/min.
Maximum Sump Oil Temperature.....	127°C
Minimum Engine Oil Pressure for Engine Protection Devices:	
— At Rated Speed and Load.....	276kPa
— At Torque Peak Speed and Load.....	207 kPa
— At Low Idle.....	69kPa
Minimum Required Lube System Capacity - Sump plus Filters.....	9 litre
By-pass Filtration Required.....	No
Angularity of Standard Oil Pan: (Values stated are for intermittent operation only):	
— Front Down.....	45 °
— Front Up.....	45 °
— Side to Side.....	45°

Gambar 4.5 : Screenshot spesifikasi system pelumasan

Ada tiga desain yang coba dianalisa dalam pengerjaan tugas akhir ini. Beberapa pertimbangan letak main engine, sifat mekanis fluida cair, serta pertimbangan lainnya. Berikut ini merupakan hasilnya:

a) Desain *Plate Pan*

Desain ini tidak banyak mengubah desain awal, hanya saja menambahkan plat pada sisi kiri dan kanan *crankcase*.

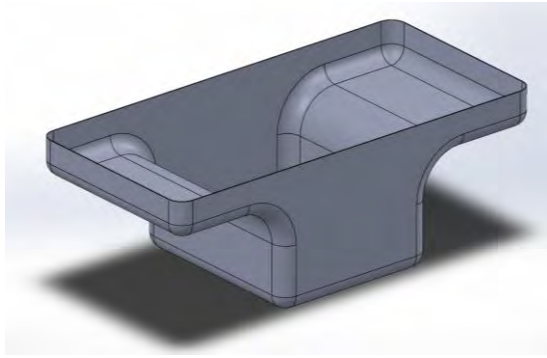


Gambar. 4.6 : Desain Plate Pan

Pada desain ini, crankcase memiliki tambahan sedikit plat pada bagian sampingnya. Plat ini berguna untuk menahan oli untuk mengalir ke sisi kanan dan kiri ketika kapal kapal mengalami rolling. Dengan demikian ketinggian permukaan oli menuju ke pipa suction akan tetap tinggi.

Jika dilihat dari desain awal kekurangan dari desai ini hanyalah pada proses produksi. Selain penambahan material, ada sedikit proses yang sedikit rumit untuk menempelkan plat tersebut kebagian samping dalam *crankcase*.

b) Desain *Middle Pan*



Gambar 4.7: Desain Middle Pan

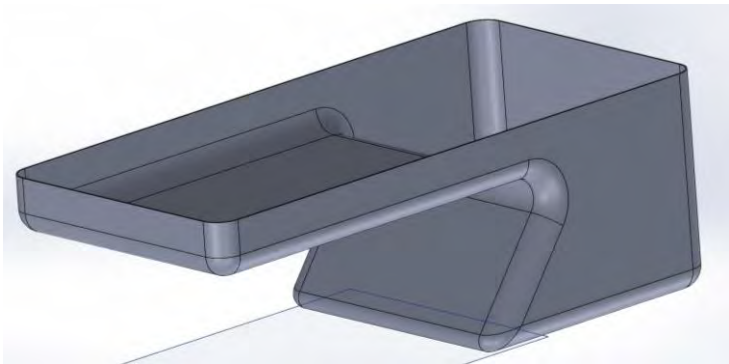
Jika menganalisa pada desain awal, maka bagian curam *crankcase* terletak pada bagian belakang motor diesel. Itu artinya bagian tersebut berguna untuk menjaga kestabilan ketinggian oli ketika kapal dalam kondisi *trim by stern* pada kapal yang mempunyai letak kamar mesin pada bagian buritan kapal.

Namun ini tidak berlaku pada kapal yang mempunyai letak kamar mesin pada bagian tengah. Dengan berjalan tanpa muatan kapal akan relatif dalam kondisi *even keel*. Sehingga desain *crankcase* ini bisa optimal pada kapal yang mempunyai letak kamar mesin dibagian tengah.

Kalau melihat dari kekurangannya, pada desain ini harus mengubah sedikit posisi pipa suction yang nantinya akan menyedot oli pelumas. Pipa harus dilakukan pemanjangan karena yang awalnya terletak dibelakang harus diperpanjang ke depan.

Jika mempertimbangkan konsumsi oli pada saat motor dalam beban penuh, desain ini tidak ada bedanya dengan desain awal. Karena mulai volume, kedalaman serta bentuknya sama, hanya saja posisi dari bagian curamnya digeser ke bagian tengah.

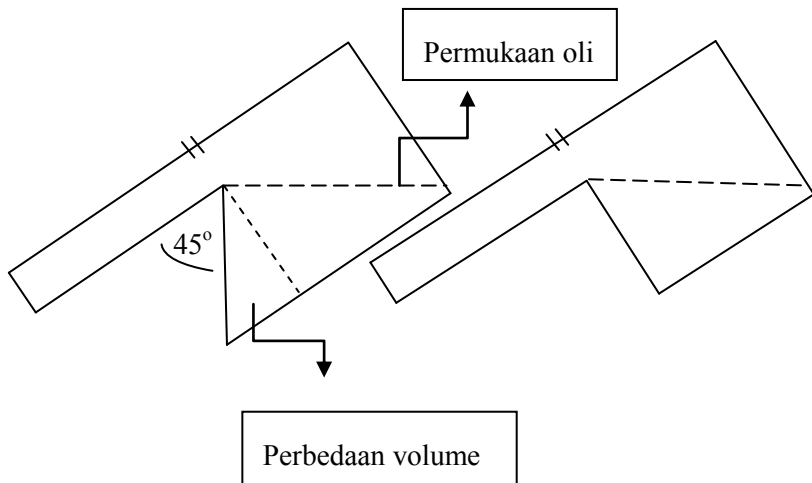
c) Desain *Z Pan*



Gambar 4.8 : Desain Z Pan

Pertimbangan pemubatan desain ini adalah mengadopsi dari desain awal yang meletakkan bagian curam *crankcase* pada bagian belakang motor diesel. Mengingat bahwa untuk kapal-kapal modern rata-rata meletakkan kamar mesin pada bagian belakang kapal, maka pada desain ini tetap menggunakan bagian curam dari crankcase diletakkan pada bagian belakang dengan mengubah sedikit bentuknya.

Keuntungan dari desain ini adalah bentuk mirip dengan huruf Z yang dapat menyimpan oli lebih banyak pada bagian cekung *crankcase*. Dengan bentuk huruf Z tersebut, oli pelumas dapat tertahan oleh sudut cekung bagian atas curam saat kapal dalam kondisi *trim by bow*.



Gambar 4.9 : Ilustrasi kemiringan z pan

Dengan mempertimbangkan minimal volume oli yang masuk pada system pelumasan, maka desain ini lebih unggul jika dibandingkan dengan desain awal dengan tinggi, panjang, dan lebar yang sama. Karena dengan sudut desain huruf Z sebesar 45° , Z pan mampu menyimpan oli pelumas lebih banyak.

Kekurangan dari desain ini adalah, terletak pada proses pembuatannya. Desain ini membutuhkan tambahan material. Dan mungkin cukup sulit untuk memproduksinya karena harus membentuk sudut 45° yang presisi.

4.4 Analisa Tegangan Thermal

Dalam menganalisa tegangan thermal menggunakan software solidwork, maka harus memasukkan data sebagai berikut:

Suhu dalam crankcase : 127° c (suhu maks. oli)

Suhu luar crankcase : 45° c (suhu maks. kamar mesin)

Dalam analisa ini, akan dicoba menggunakan tiga variasi material, yakni stainless steel, plain carbon steel, serta copper alloy. Berikut merupakan properties dari masing-masing material:

1. *Stainless Steel*

Table 4.3 Stainless Steel Property

Propety	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m ²
Poissons Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.7e+010	N/m ²
Density	7800	Kg/m ³
Tensile Strenght	513613000	N/m ²
Compressive Strength in X		N/m ²
Yield Strenght	172339000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-005	/K

Thermal Conductivity	18	W/(m-K)
Specific Heat	460	J/(kg-K)

2. Plain Carbon Steel

Table 4.4 Plain Carbon Steel Property

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m ²
Poissons Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.9e+010	N/m ²
Density	7800	Kg/m ³
Tensile Strenght	399826000	N/m ²
Compressive Strength in X		N/m ²
Yield Strenght	220594000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.3e-005	/K
Thermal Conductivity	43	W/(m-K)
Specific Heat	440	J/(kg-K)

3. *Copper*

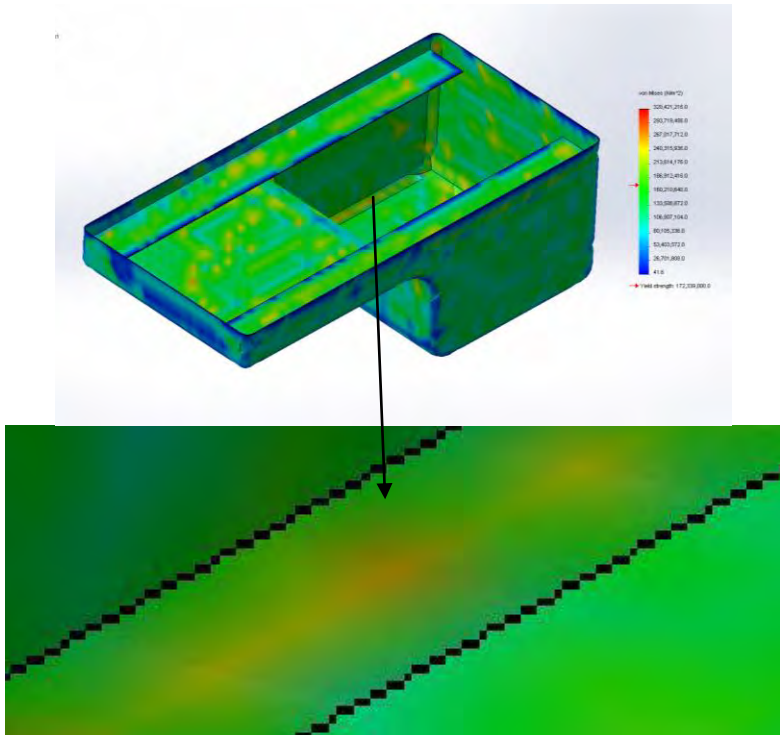
Table 4.5 Copper Property

Propety	Value	Units
Elastic Modulus	1.1e+011	N/m ²
Poissons Ratio	0.37	N/A
Shear Modulus	4e+010	N/m ²
Density	8900	Kg/m ³
Tensile Strenght	394380000	N/m ²
Compressive Strength in X		N/m ²
Yield Strenght	258646000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-005	/K
Thermal Conductivity	390	W/(m-K)

Berikut merupakan hasil analisa tegangan termal dari setiap material dengan desain yang berbeda:

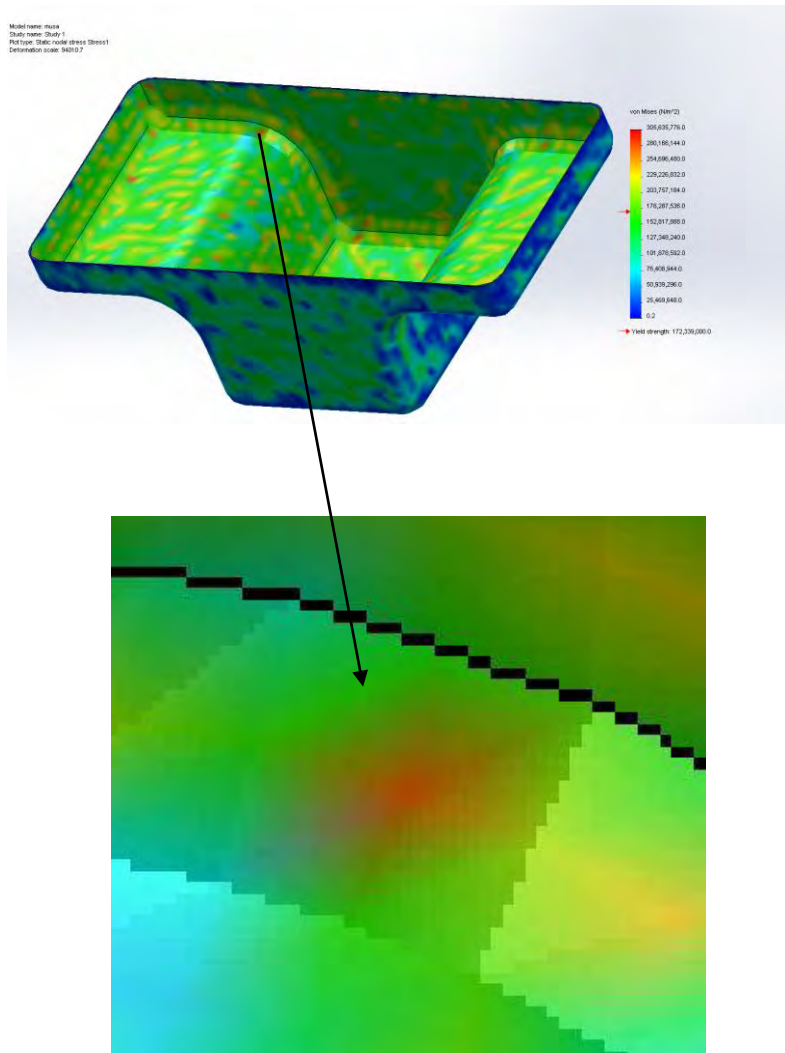
1. *Stainless Steel*

a. Desain *Plate Pan*



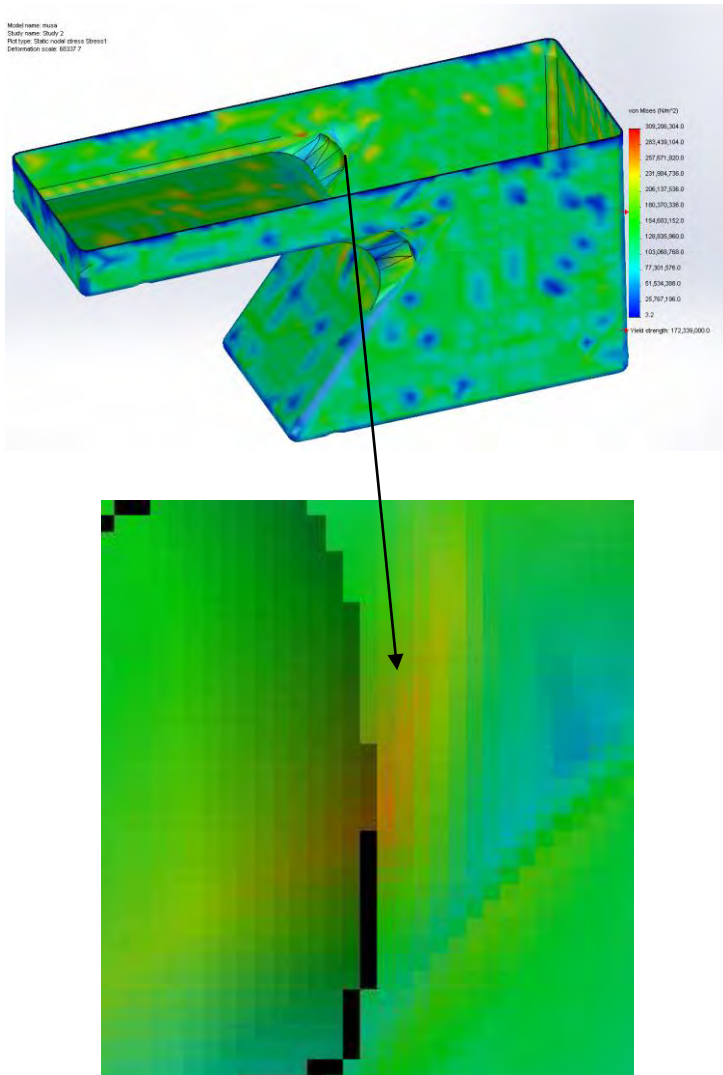
Gambar 4.10 : Tegangan thermal plate pan stainless

b. Desain *Middle Pan*



Gambar 4.11 : Tegangan thermal middle pan stainless

c. Desain Z Pan

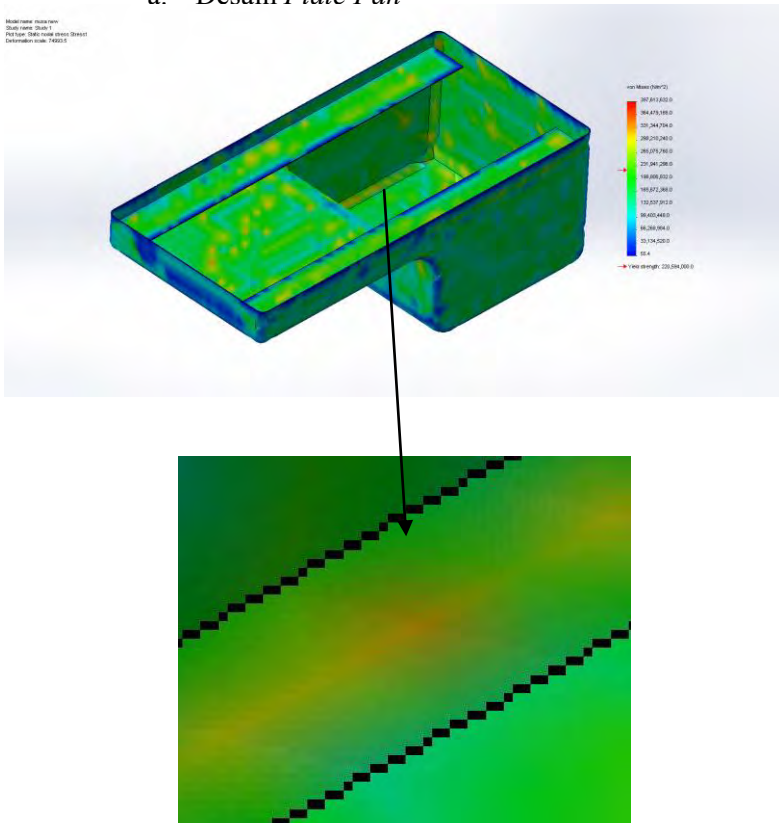


Gambar 4.12 : Tegangan thermal z pan stainless

Dari analisa diatas dapat diperoleh hasil bahwa pada kondisi yield strength yang sama yakni pada angka 179,339, *Plate Pan* memiliki nilai tegangan tertinggi, dengan interval 186,912-240,315 MPa. Selanjutnya *Z Pan* berada di bawahnya dengan interval tegangan 180,370-231,904 MPa. Dan terendah adalah *Middle Pan* dengan interval tegangan 178,287-229.226 MPa.

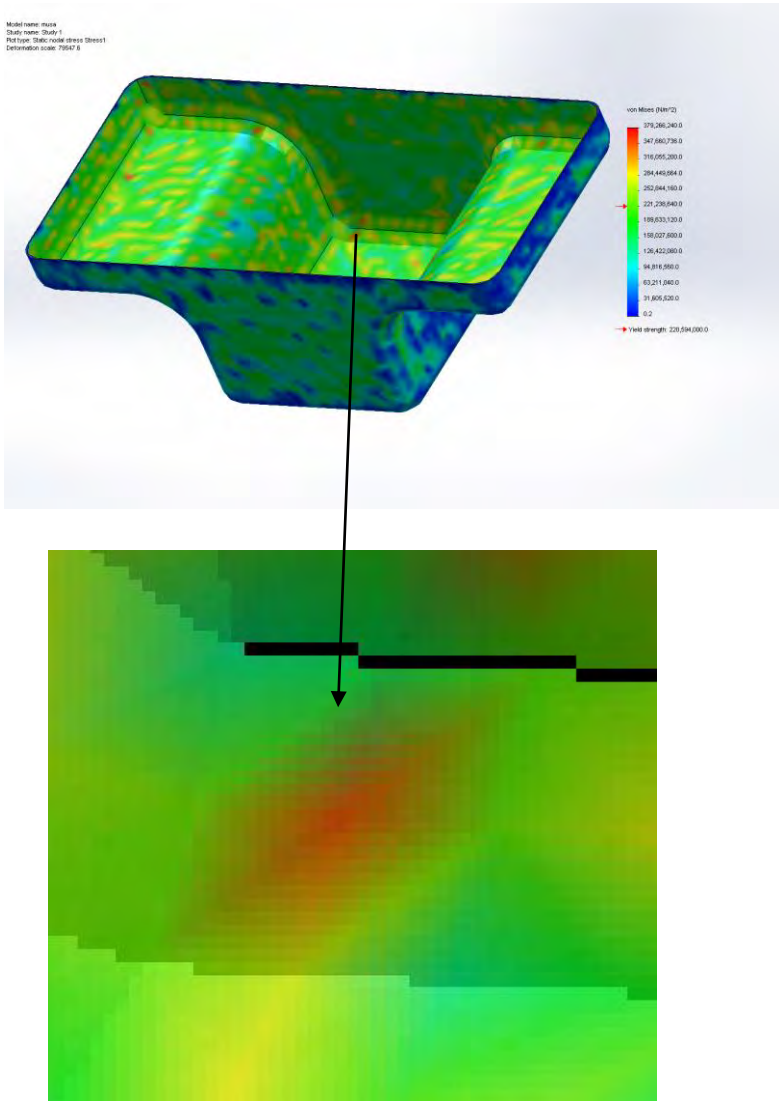
2. Plain Carbon Steel

a. Desain *Plate Pan*



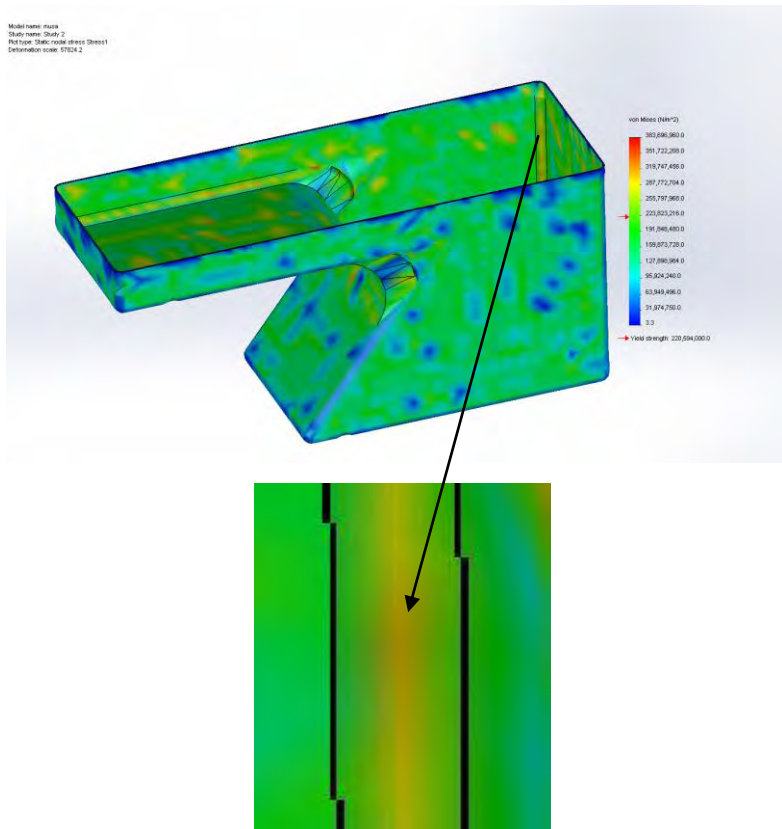
Gambar 4.13 : Tegangan thermal plate pan plain carbon

b. Desain *Middle Pan*



Gambar 4.14 : Tegangan thermal middle pan plain carbon

c. Desain *Z Pan*

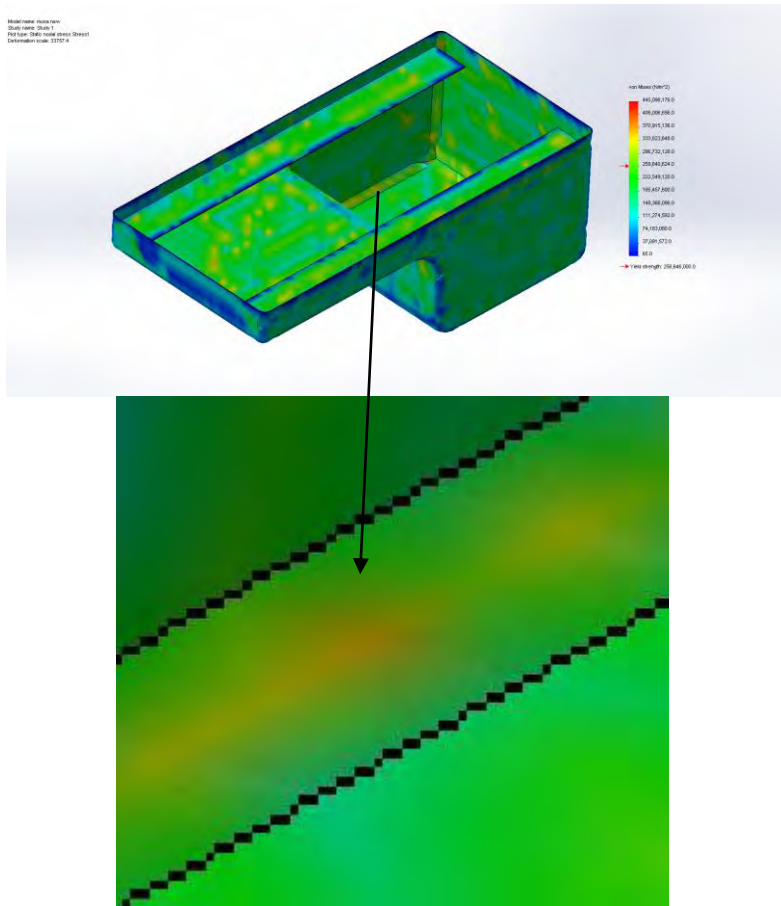


Gambar 4.15 : Tegangan thermal *z pan plain carbon*

kondisi yield strength yang juga sama yakni pada angka 220,594, *Plate Pan* masih memiliki nilai tegangan tertinggi, dengan interval 231,941-298,210 MPa. Selanjutnya *Z Pan* berada di bawahnya dengan interval tegangan 223,823-287,772 MPa. Dan terendah masih *Middle Pan* dengan interval tegangan 221,338-284,449 MPa.

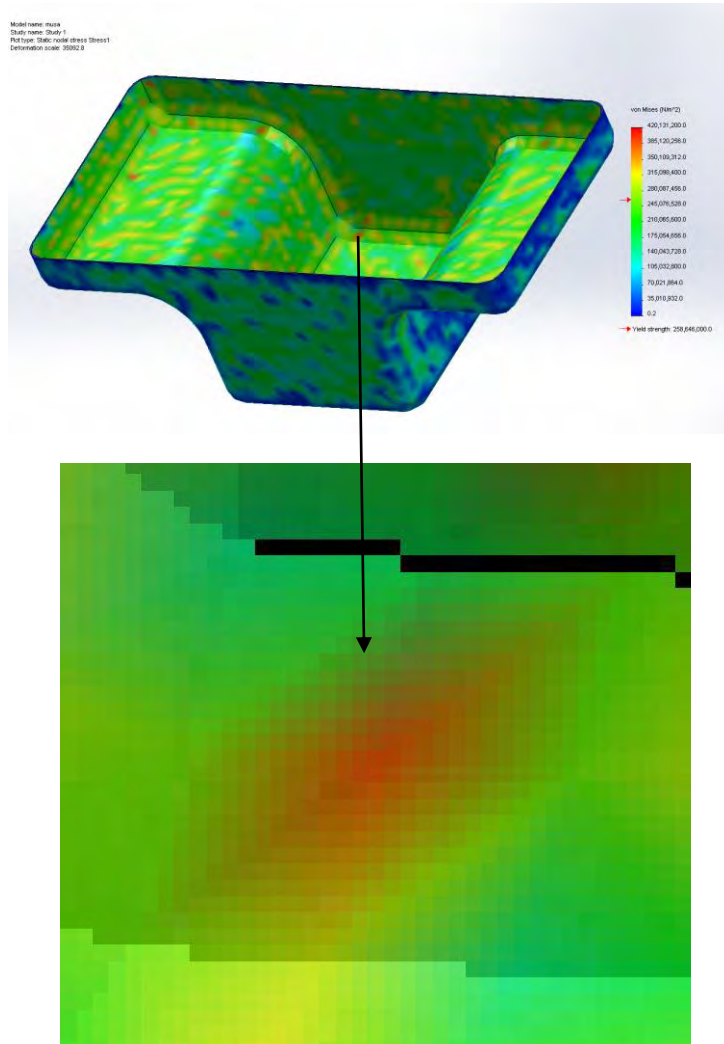
3. *Copper Alloy*

a. *Desain Plate Pan*



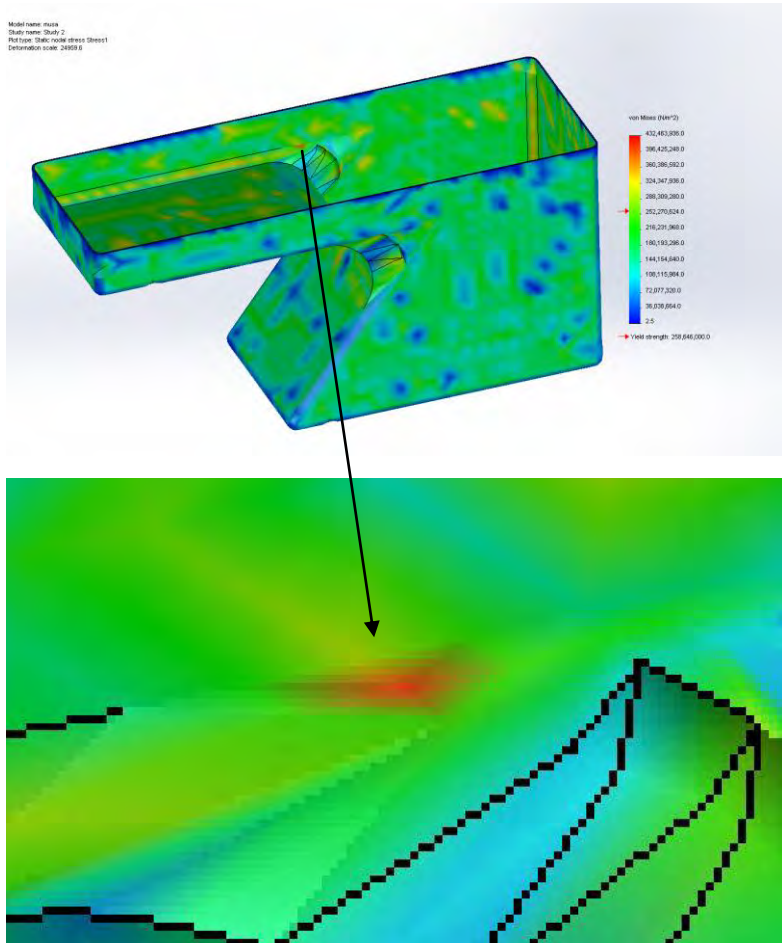
Gambar 4.16 : Tegangan thermal plate pan copper

b. Desain *Middle Pan*



Gambar 4.17 : Tegangan thermal middle pan copper

c. Desain Z Pan



Gambar 4.18 : Tegangan thermal z pan copper

Tabel 4.6 Perbandingan Tegangan Thermal

No	Desain	Material	Tegangan Thermal (MPa)	Yield strength
1.	<i>Plate Pan</i>	<i>Stainless Steel</i>	186,912-240,315	179,339
		<i>Plain Carbon Steel</i>	231,941-298,210	220,594
		<i>Copper Alloy</i>	259,640-333,823	258.646
2.	<i>Z Pan</i>	<i>Stainless Steel</i>	180,370-231,904	179,339
		<i>Plain Carbon Steel</i>	223,823-287,772	220,594
		<i>Copper Alloy</i>	245,076-315,098	258.646
3.	<i>Middle Pan</i>	<i>Stainless Steel</i>	178,287-229,226	179,339
		<i>Plain Carbon Steel</i>	221,338-284,449	220,594
		<i>Copper Alloy</i>	252,270-324,347	258.646

Dari analisa material yang terkahir diperoleh hasil bahwa kondisi yield strength yang juga sama yakni pada angka 258.646 ,

Plate Pan juga masih memiliki nilai tegangan tertinggi, dengan interval 259,640-333,823 MPa. Selanjutnya *Z Pan* berada di bawahnya dengan interval tegangan 245,076-315,098 MPa. Dan terendah juga masih *Middle Pan* dengan interval tegangan 252,270-324,347 MPa.

Dari ketiga material yang sudah dianalisa dengan menggunakan tiga desain yang berbeda, maka dapat dilihat perbandingannya dengan melihat tabel 4.6

4.5 Analisa Tegangan Mekanik

Setelah diamati dan analisa, tidak ada tegangan mekanik yang mempengaruhi crankcase motor diesel ini karena crankcase pada motor diesel cummin 4BTA-3.9 ini hanya berfungsi sebagai oil pan. Tetapi ada tekanan yang mempengaruhinya akibat fluida yang ditampung, yakni tekanan hidrostatik.

Tekanan hidrostatik sendiri dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P = \rho \times g \times h$$

P = tekanan hidrostatik ($N.m^2$)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9.8 m/s^2$)

h = kedalaman titik tekan (m)

untuk menghitung tekanan tertinggi yakni pada dasar crankcase dapat dicari dengan rumus di atas

diketahui:

massa jenis oli 15W-40 = 0.875

percepatan gravitasi = $9.8 m/s^2$

kedalaman titik h_1 = 0.185 m

maka, P pada dasar = $0.875 \times 9.8 \times 0.185 = 1.58 Nm^2$

4.6 Perhitungan tegangan total

Tegangan total yang diterima oleh crankcase dapat dihitung dengan menjumlahkan tegangan thermal dengan tegangan mekanis.

Berikut tegangan total maksimal yang diterima crankcase dengan bahan yang material yang berbeda:

Tabel 4.7 Tegangan total

No	Desain	Material	Tegangan total maksimal (Pa)
1.	Plate Pan	<i>Stainless Steel</i>	$(240,315 \times 10^6) + 1.58$
		<i>Plain Carbon Steel</i>	$(298,210 \times 10^6) + 1.58$
		<i>Copper Alloy</i>	$(333,823 \times 10^6) + 1.58$
2.	Z Pan	<i>Stainless Steel</i>	$(231,904 \times 10^6) + 1.58$
		<i>Plain Carbon Steel</i>	$(287,772 \times 10^6) + 1.58$
		<i>Copper Alloy</i>	$(315,098 \times 10^6) + 1.58$
3.	<i>Middle Pan</i>	<i>Stainless Steel</i>	$(229.226 \times$

No	Desain	Material	Tegangan total maksimal (Pa)
3.	<i>Middle Pan</i>		$10^6)+1.58$
		<i>Plain Carbon Steel</i>	$(284,449 \times 10^6)+1.58$
		<i>Copper Alloy</i>	$(324,347 \times 10^6)+1.58$

4.7 Pembahasan

Pada perencanaan bak pelumas, desain yang memiliki kedalaman bak paling tinggi memiliki efisiensi paling tinggi dengan perpanjangan kedalaman sebesar 50 mm dari dimensi awal. Sedangkan perencanaan bak pelumas yang mengalami pengurangan kedalaman mempunyai efisiensi yang kurang baik, karena ketika pada posisi miring 45° permukaan oli pelumas menyentuh dasar dari bak oli. Ini mengakibatkan pipa suction untuk menyedot oli tidak dapat menyedot oli dengan sempurna.

Alternatif desain crankcase *z pan* mempunyai efisiensi terbaik dibandingkan desain yang lain. Dengan cekungan kesamping bagian dalam membuat bak menampung oli lebih banyak serta mampu menahan oli ketika miring kebelakang sebesar 45° . sedangkan *middle pan* lebih direkomendasikan pada motor diesel yang digunakan untuk kapal yang memiliki letak kamar mesin dibagian *mid ship* kapal. Lalu *plate pan* merupakan desain alternatif yang paling sederhana, karena tidak perlu mengganti crankcase yang lama. Tinggal menambahkan plat di samping kanan kiri, maka crankcase bisa sedikit menahan oli ketika kemiringan mesin lebih dari 45° .

Material yang memiliki kemampuan paling bagus untuk menahan tegangan thermal adalah *stainless steel*. Dengan selisih antara 50-70 Mpa plain *carbon steel* berada di posisi kedua diikuti *copper alloy* dengan tegangan thermal paling tinggi.

Tegangan mekanik yang dialami crankcase hanyalah tekanan hidrostatik dari pelumas. Nilai tekanan tertinggi yang terjadi adalah 1.58 Pa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Bentuk crankcase yang paling efisien adalah desain crankcase dengan bak yang ditambah kedalamannya sebesar 50 mm. sedangkan desain alternative dengan efisiensi paling baik adalah desain *z pan* karena mampu menampung cadangan oli dan menahan oli ketika crankcase miring kebelakang.
2. Tegangan thermal yang paling tinggi adalah crankcase yang menggunakan material *copper alloy*, dengan nilai tertinggi $324,347 \times 10^6$ MPa dengan desain *middle pan*. Sedangkan tegangan thermal paling rendah adalah crankcase yang menggunakan material *stainless steel* dengan desain alternative *plate pan*. Tegangan mekanik maksimal yang dialami crankcase adalah tekanan hidrostatik oli dengan nilai 1.58 Pa.
3. Tegangan total maksimal yang dialami crankcase adalah sebesar $(324,347 \times 10^6) + 1.58$ Pa dengan desain *middle pan* dan menggunakan material *copper alloy*. Sedangkan tegangan total terkecil adalah senilai $(240,315 \times 10^6) + 1.58$ dengan desain *plate pan* dengan material *stainless steel*.

5.2 Saran

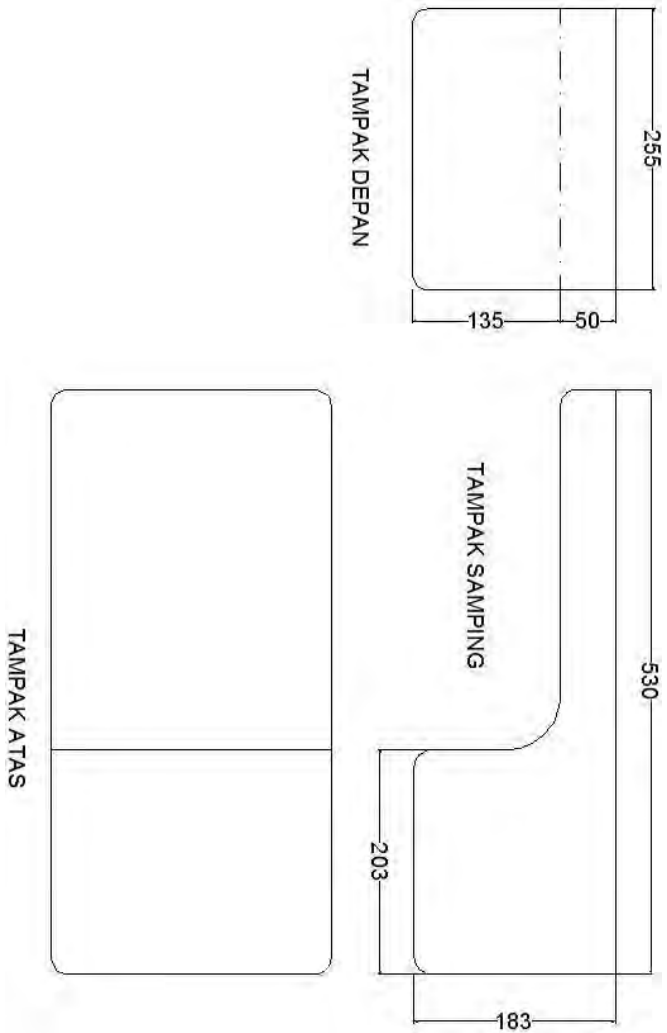
Setelah percobaan selesai maka berikut saran yang bias penulis sampaikan agar penelitian selanjutnya lebih optimal:

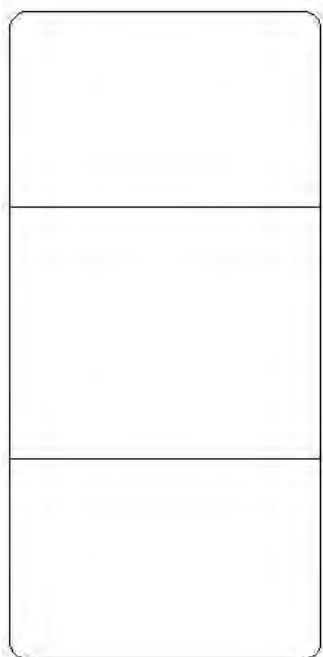
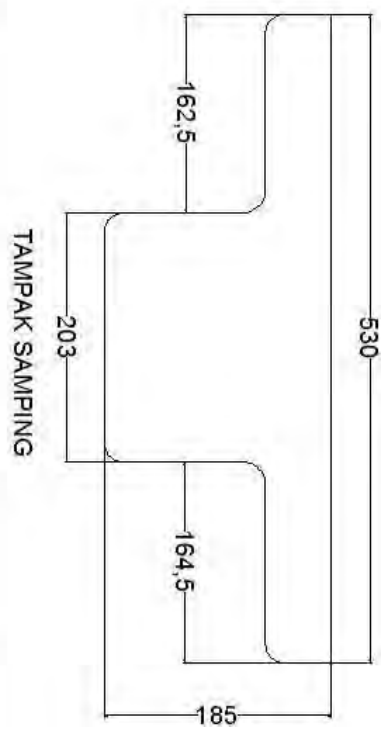
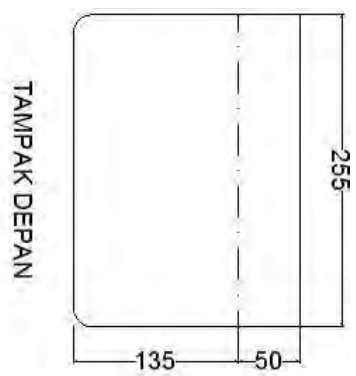
1. Alternatif desain *Plate Pan* dapat diambil konsep penambahan pelatnya pada desain crankcase yang lain.
2. Dari tiga desain yang telah ada pada analisa diatas, masih bisa dilakukan analisa lagi dengan mengubah kedalaman crankcase, panjang penambahan pelat, serta panjang dari crankcase tersebut agar hasil lebih optimal.
3. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut dengan macam material yang lebih banyak agar dapat ditemukan hasil yang optimal.

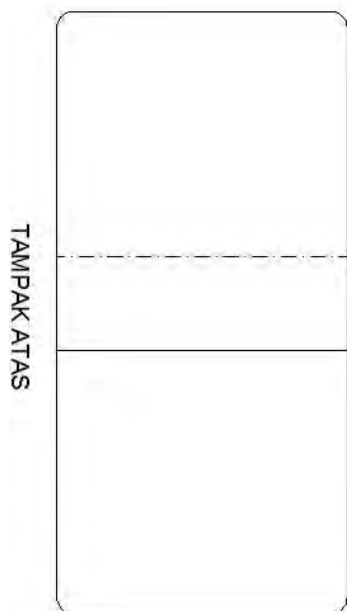
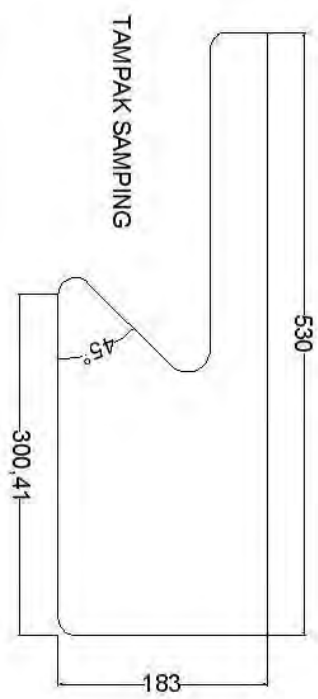
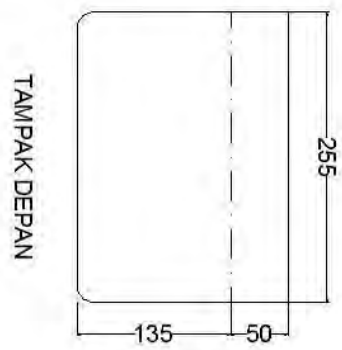
LAMPIRAN
PENGUKURAN CRANKCASE MOTOR DIESEL



DIMENSI CRANKCASE MOTOR DIESEL







DAFTAR PUSTAKA

Ali , Ngozy Sherry . 2005 . *Reverse Engineering of Automotive Parts Applying Laser Scanning and Structured Light Techniques*. Disertasi. Masters of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville

Hamidreza Chamani , Amir Malakizadi , Seyed Navid Shahangian.2001. *Thermal and Mechanical Stress Analysis of a Heavy Duty Diesel Engine Cylinder Liner* . 5th International Conference on Internal Combustion Engines

Hutton, David V. 2004 . *Fundamentals of Finite Element Analysis* .New York : Mc Graw Hill

Mashkour, Mahmoud A. 2014 . *Design Of Internal Combustion Engine*

Mecitoglu, Zahit . 2008 .*Finite Element Analysis In Structure*. Istanbul : Istanbul Technical University

Mollenhauer dan Tschoeke . 2012. *Handbook of Diesel Engines*.Spriger :

Zang, Hongyuan. , Lin, Zaoxun ., Xu,Dawei . 2013. *An Analysis To Thermal Load And Mechanical Load Coupling Of A Gasoline Engine Piston*. Journal Of Theoretical and Applied Information Technology.

Radial stress, www.wikipedia.com diunduh tanggal 19 maret 2014)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi , 6 September 1992. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara Penulis memulai pendidikan di SD Islam Kebunrejo Genteng pada tahun 1998 hingga tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Bustanul Makmur Genteng hingga lulus pada tahun 2007. Dan berlanjut pada SMAN 2 Genteng Banyuwangi. Setelah lulus pada tahun 2010, penulis melanjutkan ke jenjang Strata-1 dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - Fakultas Teknologi

Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini, penulis mengambil bidang studi *Marine Power Plant* (MPP) untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan akademis dan non akademis. Dalam bidang non akademis penulis aktif sebagai Kepala Departemen PSDM Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan periode 2012-2013, serta turut aktif dalam pengurus BEM ITS 2013-2014 sebagai Wakil Menteri PSDM.

“halaman ini sengaja dikosongkan”